

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/050355

International filing date: 27 January 2005 (27.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 004 580.1  
Filing date: 29 January 2004 (29.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 04 April 2005 (04.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

10 2004 004 580.1

**Anmeldetag:**

29. Januar 2004

**Anmelder/Inhaber:**

NowCast Mobile GmbH, 82266 Inning/DE

**Bezeichnung:**System und Verfahren zum Erfassen, Übermitteln  
und Auswerten von durch atmosphärische elektro-  
magnetische Strahlung natürlichen Ursprungs  
anfallenden Daten und Informationen**IPC:**

G 01 W 1/16

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 09. März 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

  
Schäfer

System und Verfahren zum Erfassen,  
Übermitteln und Auswerten von durch  
atmosphärische elektromagnetische  
Strahlung natürlichen Ursprungs  
anfallenden Daten und Informationen

5

### Technisches Gebiet

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein System sowie ein Verfahren zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen Ursprungs anfallenden Daten und Informationen.

15

### Stand der Technik

20

Seit über zehn Jahren befinden sich Blitzortungssysteme weltweit im Einsatz und erlauben die Lokalisierung von Bodenblitzen mit zunehmender örtlicher Genauigkeit, die bei modernen Netzen im Bereich von unter einem Kilometer liegt. Die Nachweiseffizienz wird für Blitze mit einer Stärke von mehr als fünf Kiloampere mit meist über neunzig Prozent angegeben, bei schwächeren Blitzen sind allerdings keine statistisch verlässlichen Daten bekannt.

25

30

Traditionell sind die operationellen Netze so konzipiert, dass vorwiegend Bodenblitze (= CG oder Cloud-Ground) gemeldet und Wolke-Wolke-Blitze (= I[ntra]C[loud] innerhalb einer Gewitterwolke oder C[loud-]C[loud] zwischen Wolken) möglichst unterdrückt werden. Neuerdings verstärkt sich allerdings der Trend, auch Entladungen in den Wolken zu Zwecken meteorologischer Nutzung mit zu erfassen.

Eine Unterscheidung von CG-Blitzen und IC-/CC-Blitzen ist mit speziellen Methoden, insbesondere mit dreidimensionalen Verfahren (sogenannte 3D-Verfahren), möglich, wobei Messungen im V[ery]H[igh]F[requenzy]-Bereich und im V[ery]L[ow]F[requenzy]-Bereich miteinander kombiniert werden [vgl. Kawasaki, Z.-I. et al. (1994), "SAFIR operation and evaluation of its performance", Geophys. Res. Lett. 21(12), 1133-1166; Thery, C. (2001), "Evaluation of LPATS data using VHF interferometric observations of lightning flashes during the EILINOX experiment", Atmospheric research 56, 397-409].

Die weltweit über großen Flächen eingesetzten Ortungsverfahren basieren jedoch auf weniger aufwändigen zweidimensionalen Systemen (sogenannte 2D-Systeme), bei denen sich die CG- versus IC-/CC-Unterscheidung schwieriger gestaltet. Einige Hersteller berichten zwar von zuverlässigen Unterscheidungsverfahren, insgesamt ist die Literatur zu dieser Problematik jedoch äußerst widersprüchlich.

### **Darstellung der Erfindung: Aufgabe, Lösung, Vorteile**

Ausgehend von den vorstehend dargelegten Nachteilen und Unzulänglichkeiten sowie unter Würdigung des umrissenen Standes der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein System der eingangs genannten Art sowie ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzuentwickeln, dass eine genaue und zuverlässige Unterscheidung zwischen Wolke-Boden-Blitzen (C[loud]G[round]) und Wolke-Wolke-Blitzen (= I[ntra]C[loud] innerhalb einer Wolke oder C[loud]-C[loud] zwischen Wolken) gewährleistet ist.

Diese Aufgabe wird gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung durch ein System gemäß der nachstehend dargelegten Art sowie durch ein Verfahren gemäß der nachstehend dargelegten Art gelöst. Vorteilhafte

Ausgestaltungen und zweckmäßige Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind ebenfalls nachstehend gekennzeichnet.

5 Mithin liegt der Kern der vorliegenden Erfindung in der dreidimensionalen Peilung von Blitzen in V[ery]L[ow]F[requency]-Netzwerken.

10 Zur Abgrenzung von konventionellen, bereits bekannten Peilverfahren gilt für die vorliegende Erfindung, dass die Peilung nicht mit nur einer oder zwei blitznahen Sensoren auf direkte Weise, das heißt nicht durch ortsnahe Anpeilen in die Höhe erfolgt, sondern durch Nutzung von Abweichungen der Signal-Ankunftszeiten an der jeweils blitznächsten Station gegenüber den anderen, nicht blitznächsten Sensorstationen.

15 Demzufolge befasst sich die vorliegende Erfindung mit einem neu konzipierten Blitzortungssystem, das im Prinzip zunächst von den bewährten zweidimensionalen Verfahren (sogenannte 2D-Blitzpeilung) im V[ery]L[ow]F[requency]-Bereich basiert.

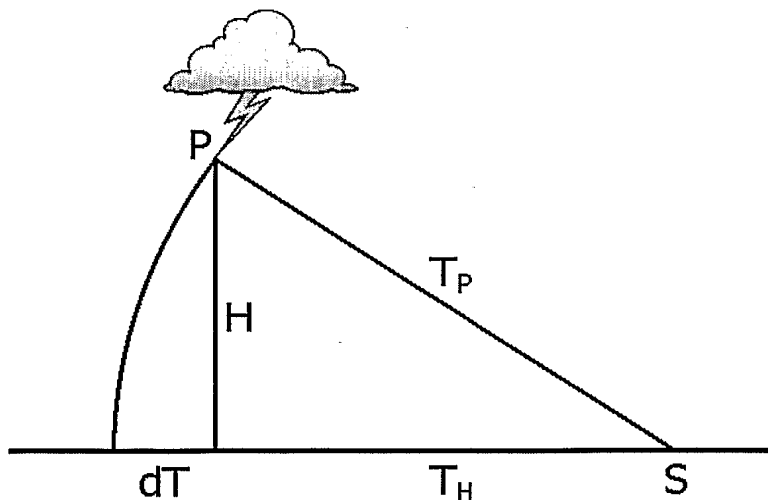
20 Hierzu ist anzumerken, dass in zahlreichen Ländern 2D-Blitzortungssysteme in Betrieb sind. Beispielhaft seien das nordamerikanische Netzwerk NALDN in USA (vgl. Orville, R. E. et al. (2002), "The North American Lightning Detection Network (NALDN) – First results: 1998-2000", Monthly Weather Review 130 (8), 2098-2109) und das europäische Verbundsystem EUCLID erwähnt.

25 Letzteres EUCLID-System entstand aus einem Zusammenschluss des bundesdeutschen Systems BLIDS und des österreichischen ALDIS-Netzes (vgl. Diendorfer, G. et al. (1994), „Results of a performance analysis of the Austrian Lightning Location Network ALDIS“. In: 22nd Int. Conf. on Lightning Protection, Sept. 19-23, Budapest, Hungary) sowie  
30 dessen Erweiterung auf zahlreiche andere umliegende Länder.

Diese Netzwerke arbeiten im VLF-Bereich und nutzen sowohl die klassischen Methoden der Richtungspeilung (sogenanntes Direction Finding) und der Signal-Laufzeiten (Time of Arrival). Die von einem Blitz ausgesandte VLF-Strahlung lässt sich bei hinreichender Stärke an mehreren Sensorstationen empfangen. Zur Ermittlung des Quellortes sind dann die an den einzelnen Stationen gemessenen Einfallsrichtungen (DF) und/oder die Laufzeitunterschiede (TOA) nutzbar.

Werden nun die Signale an nur zwei Sensoren festgestellt, liefern die Richtungen einen Peilort, der durch Einbindung der Signalzeiten optimiert werden kann. Bei Signalerfassung an mehr als zwei Stationen ist die Time of Arrival-Methode aus Gründen der Genauigkeit vorzuziehen, weil relativ leicht erreichbare Genauigkeiten von etwa einer Mikrosekunde bereits zu Ortungen von besser als einem Kilometer führen.

Dementsprechend ist im nachfolgenden schematischen Prinzipbild die entscheidende, durch IC-Entladungen (im Vergleich zu CG-Blitzen) bedingte Laufzeitverzögerung  $dT = T_P - T_H$  dargestellt, wobei  $H$  die Emissionshöhe der VLF-Blitzstrahlung und  $S$  eine Sensorstation ist:



Sind mehr als drei Messdaten verfügbar, können die drei zu ermittelnden unbekannten Größen (die Länge, die Breite und die Blitzzeit) mit üblichen

Minimalisierungsverfahren errechnet werden. Soweit systematische Fehler ebenfalls in der Größenordnung von etwa einer Mikrosekunde bleiben, lässt sich die genannte Peilgenauigkeit auch nachhaltig im praktischen Dauerbetrieb erzielen und beispielsweise anhand von Einschlägen im Meßtürme verifizieren.

Da das System gemäß der vorliegenden Erfindung wie auch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung eine besonders hohe Nachweiseffizienz auch im Bereich schwacher Blitze erzielt und keine Maßnahme zur Unterdrückung von IC-Blitzen angewandt werden muss, liefert das neue Netz erheblich mehr Entladungsereignisse als konventionelle Vergleichssysteme. Aus diesem Grunde stellt sich in ganz besonderem Maße die Frage nach der Herkunft der Entladungen.

Zu diesem Zweck wird das Netz gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung um einen dreidimensionalen Modus (sogenannter 3D-Modus) erweitert, so dass Emissionshöhen von Entladungen ermittelt werden können. Damit wird erfindungsgemäß ein neuartiger und entscheidender Beitrag zur Identifizierung von IC-/CC-Blitzen vorgeschlagen.

Eine derartige Vorgehensweise bietet eine Reihe von technischen wie auch wirtschaftlichen Vorteilen:

- weil nur eine Station blitznah sein muß, sind große Sensorabstände möglich, das heißt es ist kein dichtes teures Netz erforderlich;
- aufgrund der Nutzung G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-gesteuerter Zeitmessungen können auch noch größere Entfernungen von bis zu etwa einhundert Kilometern zur Blitz-Station als "blitznah" gelten und signifikante, das heißt für die Höhenpeilung nutzbare Zeitabweichungen produzieren;

- die Verwendung von V[ery]L[ow]F[requency]-Meßnetzen (= Bereich um zehn Kilohertz) sichert eine große Reichweite der nicht blitznächsten Stationen (, die den Blitz auch noch erfassen müssen), das heißt etablierte VLF-Netze können eingesetzt werden, sofern die Zeitmessungen GPS-genau sind;
- das System gemäß der vorliegenden Erfindung wie auch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann auf der Hardware herkömmlicher 2D-Blitzortungsverfahren aufsetzen;
- die Existenz von Blitzemissionen aus Kilometer-Höhen lässt sich theoriefrei aus einem Vergleich der an einzelnen (, jeweils blitznächsten) Sensoren und an Gruppen von (nicht blitznächsten) Sensoren gemessenen Verteilungen von Zeitabweichungen zweier Blitzzeiten (im Netz durch Gesamtpeilung ermittelte Blitzzeit minus Differenz von Ankunftszeit und Laufzeit an der jeweiligen blitznächsten Station) erkennen;
- die Emissionshöhe lässt sich mit Algorithmen, die mit denen der Ortspeilung zumindest vergleichbar sind, durch Hinzufügen der Höhenvariablen berechnen;
- das Verfahren kann in andere existierende Blitzortungssysteme integriert werden;
- das Verfahren kann auch bei intensitätsschwachen Blitzen eingesetzt werden, sofern der Blitz an drei, bei Nutzung von Einfallsrichtungen zur Peilung auch an nur zwei Sensoren gemessen wird;
- die Ergebnisse des Verfahrens können dazu benutzt werden, Fragen einer Impulsform-Diskriminierung von Wolke-Wolke-Blitzen (IC) gegenüber Wolke-Erde-Blitzen (CG) zu klären; und



- 5
- das System gemäß der vorliegenden Erfindung wie auch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann zusammen mit der Impulsform-Analyse zur Diskriminierung eingesetzt werden, um den (kleinen) Prozentsatz strittiger Fälle zu lösen, der weder mit dem einen Verfahren noch mit dem anderen Verfahren klar entscheidbar ist.

10 Neben den vorstehend dargelegten technischen sowie wirtschaftlichen Vorteilen bietet die vorliegende Erfindung auch eine Reihe von Anwendungsvorteilen, so etwa

- meteorologisch und wolkenphysikalisch wichtige Erkenntnisse über das Auftreten von IC-Blitzen,
  - eine höchst sichere Unterscheidung von CG-Blitzen versus IC-Blitzen,
  - eine bessere Identifizierung von CG-Blitzen, was zu wichtigen Folgedaten in Form von zuverlässigeren Blitzdichte-Karten führt (Verbesserung des Blitzschutzes, was zum Beispiel für die Versicherungswirtschaft interessant ist) oder
  - eine Erfassung von wesentlich mehr Blitzen, als herkömmliche Netze melden, was in Zusammenhang mit CG-Identifizierungen zu deutlich höheren Boden-Blitzdichten als bisher angenommen führt.
- 20

Des weiteren liefert die vorliegende Erfindung einen Lösungsbeitrag zu, einer Reihe von Schwierigkeiten, so etwa

- dem Erfordernis einer genauen Zeitbestimmung auch bei intensitätsschwachen, verrauschten, komplex geformten und/oder übersteuerten Signalen, um eine möglichst quantitative Erfassung und Unterscheidung von Blitzen (I[ntra]C[loud] versus C[loud-]G[round]) zu gewährleisten,
  - der Notwendigkeit einer effizienten Erkennung nicht blitzkorrelierter Störsignale,
  - dem Erfordernis einer optimalen Einrichtung des Zeitmanagements aller Stations- und Netzkomponenten oder
- 25
- 30

- der Notwendigkeit einer Benutzung komplexer Algorithmen zur möglichst zuverlässigen Unterscheidung von echten und statistisch sowie durch systematische Fehler bedingten Zufalls-Höhenpeilungen.

5 Des weiteren ermöglicht es die vorliegende Erfindung, neue Fragen betreffend die VLF-Emission aus Gewitterwolken zu diskutieren. So ist für die Möglichkeit der Höhenpeilung erfindungswesentlich, dass die Verzögerung der Blitz-Ankunftszeit ihre Ursache in der längeren Laufzeit zur Emissionsquelle hat und nicht durch apparative oder sonstige systematische Fehler verursacht wird. Im folgenden werden die fünf wichtigsten möglichen Effekte diskutiert, die einen Einfluss auf die Höhenbestimmung haben können:

10 (i) Zunächst könnte unterstellt werden, dass verzögerte Ankunftszeiten aufgrund von Systemfehlern rein statistisch verteilt auftreten und keine physikalische Bedeutung haben. Da die in Rede stehenden Verzögerungen je nach Distanz zum Blitz meist mehrere Mikrosekunden betragen, müssten relativ große Zeitfehler unterstellt werden, die aufgrund der nachweislich genauen Peilungen auszuschließen sind.

20 Ferner würde man dann erwarten, dass Fehler mit kleineren Verzögerungszeiten häufiger auftreten und die resultierende Höhenverteilung entgegen den tatsächlichen Ergebnissen zu niedrigen Blitzhöhen nahe Null stark zunimmt.

25 Eine Untersuchung der Zeitabstände zwischen ermittelter Blitzzeit und den aus den Einzelstationen gemäß Ankunftszeit und Laufzeit zum Blitzort resultierenden Blitzzeiten ergeben erfindungsgemäß keinerlei systematische Abweichungen der Zeitmeldungen einer Station relativ zur Gesamtheit der Stationen.

30

- (ii) Signalverzögerungen an einer Sensorstation können durch elektronische Effekte zustande kommen und an den verschiedenen Stationen unterschiedlich stark ausgeprägt sein.

5           Wäre dies der Fall, würde die 3D-Peilung in praktisch allen Fällen zu fiktiven, stationsbezogen unterschiedlichen Blitzhöhen führen und nicht nur bei einem Bruchteil der Signalgruppen. Zudem wäre dieser Fehler in der Prüfung gemäß vorstehendem Punkt (i) zu entdecken.

10           (iii) Falsche Ankunftszeiten können durch fehlerhafte Auswertung der eintreffenden Signale verursacht sein; insbesondere bei Impulsen mit mehreren Maxima oder bei nicht aufgelösten Doppelpeak-Strukturen könnte eine falsche Zeitmarkierung entstehen.

15           Bei noch gut aufgelösten Peaks würde ein solcher Fehler jedoch in der Regel zum gegenteiligen Effekt führen (--> zu frühe Ankunftszeit anstatt zu später Ankunftszeit), weil die blitznächste Station das stärkste Signal empfängt und daher kaum zu erwarten ist, dass der erste relevante Signalpeak unterdrückt und statt dessen der zweite ("verzögerte") Peak zur Zeitmarkierung erfasst wird.

20           Bei schlecht aufgelösten Doppelstrukturen könnte allerdings bei der blitznächsten Station das Maximum im zeitlich späteren Teil liegen, während bei weiter entfernten Stationen infolge von Dämpfungs- und Ausbreitungseffekten die Struktur nicht mehr aufgelöst und ein früheres Maximum in der Mitte des Gesamtpeaks gefunden wird. Die Signalauswertung gemäß der vorliegenden Erfindung berücksichtigt und löst derartige Probleme.

25           30           (iv) Die Sensoren können insbesondere bei nahen Blitzen übersteuern und daher keine oder verfälschte Zeitmarkierungen und Einfallsrichtungen melden.

Es wird über vorhandene Ortungsnetze häufig berichtet, dass zur Vermeidung solcher Komplikationen blitznahe Stationen bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Für eine 3D-Peilung würden dann die interessantesten Informationen verloren gehen.

Die Empfangsstationen gemäß der vorliegenden Erfindung sind daher auf hohe Intensitätsauflösung mit großem Dynamikbereich ausgelegt – ohne bei schwächsten Signalen unempfindlich zu werden –, und die Impulsbehandlung kann auch gesättigte Signale in zuverlässiger Weise verarbeiten. Dies ist dadurch erleichtert, dass das Feld  $B(t)$  und nicht die Ableitung  $dB/dt$  gemessen wird, so dass Integrationsprozeduren entfallen.

(v) Es ist wohlbekannt, dass lokale "site-errors" zur Verfälschung der gemessenen Einfallsrichtungen führen; weniger ist über die damit verbundenen Zeitfehler berichtet worden.

Sollten diese Zeitfehler den Bereich von etwa einer Mikrosekunde übersteigen, was durchaus vorstellbar erscheint, würden sich zwar nicht zwingend gravierende Fehler in der 2D-Lokalisierung des Netzes, jedoch fiktive Emissionshöhen in der 3D-Ortung ergeben. Ein solcher Effekt würde dann bei nahezu allen Signalen auftreten und dadurch feststellbar sein (vgl. vorstehender Punkt (i)).

In Anbetracht der vorstehenden Befunde kann bei der vorliegenden Erfindung davon ausgegangen werden, dass die hier vorgestellten 3D-Peilungen reale Laufzeitverzögerungen signalisieren, die durch Emission in den Gewitterwolken anstatt in Bodennähe entstehen.

Die erfindungsgemäß ermittelten Blitzhöhen sind auch mit der Geometrie typischer Gewitterwolken gut verträglich. Da allgemein und aus guten

Gründen angenommen wird, dass CG-Blitze nahe am Boden die Hauptausstrahlung im VLF-Bereich erzeugen, ist die Schlussfolgerung naheliegend, dass es sich bei den 3D-Peilungen um negative und positive IC-Blitze handelt, die eine starke vertikale Entladungsrichtung aufweisen.

5

Eher horizontal ausgerichtete IC- oder CC-Blitze dürften wegen der für die erfindungsgemäß angewandte Messtechnik ungünstigeren Strahlungscharakteristik kaum an mehreren Station mit Amplituden gemäß einer  $1/R$ -Abhängigkeit zu empfangen sein.

10

Interessant ist im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung noch die Frage, inwieweit aufwärts gerichtete Erde-Wolke-Blitze (G[round-]C[loud]) an der Wolkenuntergrenze ausstrahlen. Insofern ist es nützlich, die erfindungsgemäß erhaltenen Befunde beispielhaft anhand echter 3D-Systeme zu überprüfen (vgl. Defer, E. et al. (2000), "Simultaneous observations of CG activity from NALDN and ONERA-ITF interferometric mapper during the STERAO-A experiment". In: Int. Lightning Detection Conf., Nov. 7-8, Tucson, Arizona (Global Atmospherics Inc.)).

15

20

Eine Verfeinerung der vorliegenden Erfindung, also des Pseudo-3D-Systems bzw. des Pseudo-3D-Verfahrens zur Ermittlung von Blitz-Emissionshöhen im VLF-Bereich hinsichtlich noch genauerer Zeitaufösungen, als sie in der ersten Phase des Netzes realisiert sind, und die Kombination mit Impulsform-Analysen erlaubt mit minimalem Zusatzaufwand eine zuverlässigere und nahezu quantitative (Online-)Diskriminierung von CG-Blitzen und IC-Blitzen.

25

30

Grundsätzlich erlaubt die durch die Lehre gemäß der vorliegenden Erfindung vermittelte Nutzung des 2D-Blitzortungsnetzes als Pseudo-3D-Netz die Identifizierung von Entladungen, die in Gewitterwolken aus großer Höhe emittiert werden.

Voraussetzung für die Anwendung des Systems wie auch des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine auch bei komplexen Blitz-Impulsformen auf etwa eine Mikrosekunde genaue Bestimmung der Signal-Ankunftszeiten an den einzelnen Sensorstationen, die bei optimaler Nutzung von GPS-Empfängern und bei intelligenter Impulsanalyse erzielbar ist.

Es ist also erfindungsgemäß möglich, einen Großteil der in einem Ortungsnetz peilbaren Blitze, in Netzen mit geringeren Stationsabständen sogar die Mehrzahl aller Blitze, einer 3D-Analyse zu unterziehen und sehr direkt – ohne jede theoretische Annahmen – festzustellen, ob die Emission bodennah erfolgte.

Damit ist ein wesentlicher Beitrag zu einer nachvollziehbar zuverlässigen Identifizierung von CG-Blitzen auch in räumlich großen Netzen erzielt, ohne nennenswerten Zusatzaufwand zu betreiben. Die Vorteile "echter" 3D-Systeme bleiben davon gänzlich unberührt, weil sie viel grundsätzlichere physikalische Vorgänge zum Ziel haben, als dies bei der hier behandelten reinen Blitzortung der Fall ist.

Die vorliegende Erfindung betrifft schließlich die Verwendung mindestens eines Systems gemäß der vorstehend dargelegten Art und/oder eines Verfahrens gemäß der vorstehend dargelegten Art im Echtzeit- oder Kurzfristbereich

- zur Vorhersage und zur Lokalisation, insbesondere zur Früherkennung, von klimatologischen und/oder meteorologischen Vorgängen, wie etwa von Blitzschlag, von (Extrem-)Niederschlag, von Gewittern, von Hagel, von Orkanen, von (Stark-)Regen, von Sturm, von Unwettern, von Wind oder von anderen besonderen klimatologischen und/oder meteorologischen Ereignissen;

- zur Ortung von Entladungsquellen, zum Beispiel von Blitzen, unter Einbeziehung schwacher Signale zum Optimieren der Vorhersage und Lokalisation, insbesondere der Früherkennung, von Gewitterzellen;
- 5        - zur Erkennung von Signalherden zur Vorhersage und Lokalisation, insbesondere zur Früherkennung, von Gewitterzellen;
- zur Analyse von Gruppen der Daten und Informationen zur Charakterisierung meteorologischer Klassen;
- zur Extrapolation von räumlichen Zugbahnen erkannter Gewitterherde; und/oder
- 10        - zur Gewinnung biometeorologischer Informationen.

### **Bester Weg zur Ausführung der Erfindung**

15        Zur Klärung verschiedener Fragestellungen im Bereich der Blitzforschung anhand von Messanordnungen im V[ery]L[ow]F[requency]-Bereich (sogenannte angewandte Sferics-Forschung) wird ein anhand der Figur 1 veranschaulichtes System zum Erfassen, Übermitteln und Auswerten von durch atmosphärische elektromagnetische Strahlung natürlichen

20        Ursprungs anfallenden Daten und Informationen eingesetzt. Hierzu weist das im speziellen als Sferics-/Blitzmessungsanordnung ausgebildete System konzeptionell mehrere Einzel-Meßstationen sowie eine Zentraleinrichtung oder Zentralstation auf.

25        Hierbei ist es erfindungsgemäß gelungen, sämtliche wesentlichen Komponenten des Blitzortungssystems besonders effizient zu gestalten, wobei auf Einfachheit und Kostenminimierung Wert gelegt wird. Die wesentlichen Eigenschaften seien kurz aufgeführt:

30        Die Sensoren für die V[ery]L[ow]F[requency]-Strahlung von Blitzen sind zwei einfache, gekreuzt angeordnete Spulen, mit denen infolge geeigneter

Systemdimensionierung der magnetische Fluss  $B(t)$  aus den beiden Komponenten  $B_x(t)$  und  $B_y(t)$  des Blitzfeldes gemessen wird (vgl. Figur 2).

5 Eine hinreichend getreue Abbildung des zeitlichen Verlaufs der eintreffenden Impulse ist im Bereich von knapp zehn Kilohertz bis etwa vierhundert Kilohertz gegeben. Aus dem Verhältnis von  $B_x$  und  $B_y$  lässt sich die Einfallsrichtung der Blitzstrahlung ermitteln. Der Sensor arbeitet passiv und benötigt keine Stromversorgung.

10 Zur Zeitmarkierung wird ein handelsüblicher, separat montierter G[lobal]P[ositioning]S[ystem]-Empfänger verwendet, mit dem die Signal-Ankunftszeit auf etwa eine Mikrosekunde genau festgelegt werden kann; diese Genauigkeit ist für die Funktionsfähigkeit und für die Effizienz der Peilungen von Bedeutung.

15 Die Sensordaten laufen in einen handelsüblichen P[ersonal]C[omputer] mit speziell entwickelter Modulkarte zur Digitalisierung und Vorverarbeitung.

20 Die Abtastrate zur Signaldigitalisierung ist auf ein Megahertz eingestellt. Einlaufende Signale werden kontinuierlich erfasst und parallel analysiert, so dass auch bei extrem hohen Raten kein Verlust entsteht. Die maximale Verarbeitungsrate liegt über eintausend Signalen pro Sekunde.

25 Zu jedem Signal wird ein kompaktes Datenpaket gebildet und per Telefonleitung an eine Zentrale übertragen; aufgrund der D[aten]F[ern]Ü[bertragung]-Bandbreite lassen sich nur etwa einhundert Signale pro Sekunde tatsächlich übertragen, was sich jedoch auch bei stärksten Gewittern als ausreichend erweist, so dass keine  
30 Bufferfunktionen aktiviert werden.



Die gesamten digitalisierten Impulse  $B_x(t)$  und  $B_y(t)$  werden an jeder Station archiviert und in aktivitätsarmen Zeiten, das heißt meist nachts abgerufen, um zu Forschungs- und Entwicklungszwecken nutzbar zu sein.

5 An zum Beispiel sechs Standorten werden Sensoren montiert (vgl. Figur 2; mittlerer Abstand: etwa 115 Kilometer), die im Dauerbetrieb laufen und Daten zur Zentrale senden (vgl. Figur 3). Der Zentralrechner ist ebenfalls ein üblicher P[ersonal]C[omputer], der mit Software zur Datenorganisation und Blitzpeilung ausgerüstet und für den kontinuierlichen Betrieb  
10 ausgelegt ist.

Als Beispiel sind in Figur 4A gemessene Blitze im Überwachungsgebiet mit Längen 9,5 Grad bis 13,3 Grad und Breiten 47 Grad bis 49,8 Grad dargestellt. Es handelt sich um etwas über 14.000 Blitze einschließlich  
15 Teilblitzen, die an mindestens drei Sensoren erfasst wurden. Peilungen mit nur zwei Sensoren sind nicht enthalten und würden die Gesamtzahl an Ereignissen noch steigern; die Einbeziehung dieser Daten erfordert jedoch aus Gründen der Vermeidung von Fehlpeilungen vorher eine Korrektur der Peilrichtungen hinsichtlich der sogenannten "site-error", die erst nach  
20 Gesamtauswertung der Saisondaten erfolgen kann.

Zu Vergleichszwecken zeigt Figur 4B die im gleichen Orts- und Zeitbereich mitgeteilten Blitzortungen des kommerziell in der Bundesrepublik Deutschland operierenden Systems BLIDS, die auch von  
25 den Wetterdiensten benutzt werden; allerdings ist dabei zu beachten, dass die Daten im Rahmen des europäischen Verbundsystems EUCLID zustande kommen, das heißt es gehen auch Messungen von Sensoren im umliegenden Ausland ein. Die Gesamtanzahl der Blitze beläuft sich auf 2.374, ebenfalls inklusive aller Teilblitze; die Signale weisen eine  
30 Kennzeichnung als CG-Blitz oder als IC-Blitz auf.

Hinsichtlich des erheblichen Unterschieds in den beiden Datenmengen sei lediglich darauf hingewiesen, dass die EUCLID-Daten (vgl. Figur 4B) neben der Meldung von bestimmten IC-Blitzen wahrscheinlich eine (unbekannte) Anzahl von als IC-Blitz eingestuften Signalen unterdrücken, wobei eine Reihe von "Impulsform-Kriterien" angewandt werden, deren genaue Formulierung nicht publiziert ist.

Die hier vorgestellten Daten (vgl. Figur 4A) des Netzes gemäß der vorliegenden Erfindung sind in sich konsistent gepeilt und zeigen eine ersichtlich meteorologisch sinnvolle Struktur. Es erhebt sich nun die Frage, wie die Aufteilung in CG- und IC-Blitze zu bewerkstelligen ist.

Dazu wird zunächst ein Vergleich zwischen den beiden Datenmengen gemäß Figur 4A und gemäß Figur 4B betrachtet: Von den 2.374 Blitzen des EUCLID-Systems (vgl. Figur 4B) erweisen sich 1.650 Blitze mit den Blitzen gemäß des vorliegenden Systems (vgl. Figur 4A) als zeitgleich (innerhalb wenigen Mikrosekunden), und davon 1.380 Blitze als zusätzlich ortsgleich (innerhalb von zehn Kilometern).

Die identisch gepeilten Signale lassen sich zu einer Skalierung der Blitzamplituden gemäß des erfindungsgemäßen Systems nutzen; die Amplitudenverteilungen korrelieren stark, so dass ein recht genauer relativer Vergleich möglich wird: In Figur 5 sind die Amplitudenverteilungen der beiden Blitzmengen aus Figur 4A und Figur 4B aufgetragen (LMU bzw. A-LMU = vorliegende Erfindung; DWD bzw. A-DWD = EUCLID-System).

Die Übereinstimmung ist bei großen Amplituden recht gut und wird umso schlechter, je kleinere Signale betrachtet werden; insbesondere liegen die Extra-Signale des Netzes gemäß der vorliegenden Erfindung im Mittel bei nur halb so großen Werten wie die EUCLID-Blitze.

Eine erste Inspektion der Impulsformen, die für die Blitze gemäß dem vorliegenden System an jeder Sensorstation vorliegen, ergibt noch keine eindeutige Möglichkeit, die CG- bzw. IC-Kennzeichnung der EUCLID-Blitze signifikant nachzuvollziehen; folglich können auch für die Extrablitze noch keine derartigen Zuordnungen getroffen werden.

Die zur Diskriminierung von CG- und IC-Blitzen vorliegende Literatur ist widersprüchlich und soll hier nicht vertieft werden. Diese Frage kann jedenfalls noch als offen betrachtet werden, wobei von noch andauernden Impulsform-Analysen mit verbesserter Zeitauflösung mehr Klarheit erwartet werden kann.

Demzufolge kann das 2D-Netz gemäß der Lehre der vorliegenden Erfindung erweitert werden, nämlich in Form der Nutzung dieses 2D-Netzes als Pseudo-3D-Netz, wodurch eine präzise Erfassung der Signalzeiten an den einzelnen Sensorstationen realisiert wird.

Auf diese Weise eröffnet sich die Möglichkeit, 3D-Peilungen bei hinreichend stationsnahen Blitzen auszuführen. Das Schema zeigt Figur 6A, während Figur 6B die entsprechende Sensitivität für Höhenpeilungen darlegt.

Es ist unschwer zu erkennen, dass bei einer unterstellten Zeitauflösung der Blitz-Ankunftszeiten von etwa einer Mikrosekunde eine Höhenpeilung zumindest im Entfernungsbereich von bis zu etwa fünfzig Kilometern möglich ist. Die Ergebnisse der darauf basierenden neuen Auswertungen sind beispielhaft in Figur 7 dargestellt. Es erweist sich, dass der Schwerpunkt der VLF-Ausstrahlung von Entladungen in zahlreichen Fällen nicht bodennah, sondern in größerer Höhe innerhalb der Gewitterwolken liegt.

Die Methode gemäß der vorliegenden Erfindung sowie ihre Ergebnisse sollen nun näher hinterfragt werden, um die Relevanz und die Verlässlichkeit besser beurteilen zu können.

5 Wird das Verfahren anhand eines konkreten Beispiels veranschaulicht, das für die hier vorgestellten Höhenpeilungen typisch ist, so kann ein ungewöhnlich starker Blitz herangezogen werden, dem 251 Millisekunden später eine einzige schwächere Entladung am gleichen Ort folgt.

10 Tabelle 1 listet die wesentlichen Daten des Peilverfahrens zu diesem Ereignis auf:

	Länge	Breite	Abweichung (m)	Typ	Höhe (km)	Stärke (kA)	Güte
<b>Hauptblitz</b>							
3D-Peilung	11,1832	47,1962	0	CC	15.7 +/- 3.5	-243	sehr gut
2D-Peilung	11,1889	47,1965	430	--		-243	gut
Euclid	11,1888	47,1833	1.500	CG		-305	k.A.
<b>Folgeblitz</b>							
3D-Peilung	11,1846	47,1974	170	CC	16.4 +/- 3.4	-8	sehr gut
2D-Peilung	11,1909	47,1979	600	--		-8	gut
Euclid	11,1935	47,1793	2.040	CG		-9	k.A.

Tabelle 1: Peildaten eines Blitzes mit Folgeblitz. Die angegebenen Abweichungen gelten relativ zur erstgenannten Peilung. Die Distanz der beiden Euclid-Peilungen relativ zueinander beträgt 570 m. Die innere Qualität des mit Daten von 6 Stationen erzielten Peilerggebnisses verbessert sich beim Übergang von der 2D- zur 3D-Peilung ganz erheblich.

15 Wenn die Blitzortung ohne Berücksichtigung von Emissionshöhen erfolgt, ergibt sich eine von der Qualität her zwar akzeptable Ortung, jedoch ist der Peilfehler höher, als im Mittel zu erwarten wäre.

20 Eine Inspektion der an allen sechs Stationen des Netzes erfassten Blitzzeiten erweist, dass die Ankunftszeit an der betreffenden Station gegenüber der aus dem Gesamtnetz erwarteten Zeit und entgegen den entsprechenden Zeitfehlern der anderen fünf Stationen atypisch um knapp sieben Mikrosekunden verzögert ist.

25 Wird nun der 3D-Effekt zugeschaltet und eine neue Peilung mit der Blitzhöhe als zusätzlichem, zu optimierendem Parameter ausgeführt,

resultiert ein wesentlich stimmigeres Gesamtergebnis. Die neu eingeführte und optimierte Emissionshöhe ergibt sich zu 15,7 Kilometern mit einem statistischen Fehler von 3,5 Kilometern. Wird der völlig unabhängige Folgeblitz ebenso analysiert, erhält man einen nahezu identischen Blitzort mit einer Emissionshöhe von  $16,4 \pm 3,5$  Kilometern.

Die EUCLID-Peilung stimmt mit diesen beiden Blitzorten auf 1,5 Kilometer bzw. auf 2,0 Kilometer genau überein. Der gepeilte Abstand der beiden Blitze beträgt 220 Meter bei der 2D-Peilung, 170 Meter bei der 3D-Peilung und 570 Meter bei EUCLID.

Die Blitzströme ergeben sich zu -244 Kiloampere und zu -8 Kiloampere beim System gemäß der vorliegenden Erfindung bzw. zu -305 Kiloampere und zu -9 Kiloampere bei EUCLID. Interessanterweise klassifiziert EUCLID beide Ereignisse als Bodenblitze, was hier ersichtlicherweise problematisch erscheint.

Die geschilderte Verfahrensweise wird auf sämtliche betrachteten Daten angewandt und lieferte jeweils vergleichbare Ergebnisse. Um die 3D-Peilung möglichst zuverlässig zu gestalten, besteht die Möglichkeit, nur solche Fälle heranzuziehen, in denen Entladungen an mindestens vier Sensorstationen gemessen werden.

Erfindungsgemäß ist es aber auch möglich, mittels schwächerer, an nur drei Stationen erfasster Signale bei Hinzunahme der Einfallsrichtungen in die Optimierungsprozedur eine 3D-Peilung mit hinreichender Genauigkeit durchzuführen.

Tabelle 2 zeigt die Anzahl 3D-gepeilter Blitze und vergleicht diese mit der Gesamtanzahl im Netz gemäß der vorliegenden Erfindung sowie im EUCLID-Netz:

R (km)	Ns>=3	Ns>=4	Euclid	H>0	koinzident	CG	CC
20	365	173	85	36	3	3	0
30	1.459	718	252	202	19	17	2
40	5.254	2.788	807	540	64	54	10
50	9.088	4.851	1.558	679	81	67	14
60	13.508	7.098	2.589	711	86	70	16
Gesamtgebiet	60.327	36.909	23.237	2.114	596	454	142

Tabelle 2: Anzahl der detektierten Signale. R bezeichnet den Umkreisradius, Ns die Anzahl der für 2D-Peilungen jeweils benutzten Stationen. Unter 'H>0' sind die mit mindestens 4 Stationen 3D-gepeilten Signale mit großen Emissionshöhen aufgelistet. Die letzten 3 Spalten enthalten die mit Euclid zeit- und ortsgleich erfassten Signale, aufgeteilt nach dort angegebener CG- bzw. CC Klassifizierung. Die Spalte 'Euclid' zeigt die jeweils insgesamt erfassten Blitze des Euclidnetzes. In der letzten Zeile finden sich die im gesamten Gebiet gemessenen Blitzzahlen (9,5°-13,3°; 47°-49,8°).

Zwei Befunde lassen sich erkennen:

- (i) von den im Netz gemäß der vorliegenden Erfindung registrierten Extra-Signalen lässt sich nur ein Bruchteil von unter 25 Prozent höher gelegenen Emissionsorten zuordnen;
- (ii) die EUCLID-Entladungen, die mit 3D-gepeilten Signalen (große Emissionshöhen) zeitlich und räumlich übereinstimmen, sind überwiegend als Erdblitzze markiert.

Figur 7: Trennung von Wolkeblitzen und Erdblitzzen; der linke Pfeil bezeichnet die Wolkeblitze, der rechte Strich die Erdblitzze.

All in all, the present invention refers to lightning detection with enhanced efficiency and 3D-discrimination of intracloud and cloud-ground discharges, i. e. to 3D-option for emission heights and online discrimination of IC-discharges versus CG-discharges (keywords of the present invention: VLF sensor, lightning detection, lightning location network, cloud-ground flash discrimination, 3D-locating, flash density):

A new lightning location network has been developed which has been put into continuous operation and covers for example the South-East of Germany in an area of approximately 300 x 400 km. The recorded lightning activity has been analysed especially with respect to occurrence of heavy thunderstorms and comparison was made with data from the established lightning location network operated by Siemens (BLIDS, part

of the European network EUCLID, with US sensor technique and network software). The most striking results can be summarized as follows:

- the network according to the present invention reports up to an order of magnitude more discharges compared to established networks; most additional signals exhibit lower amplitude;
- a new 3D-technique has been successfully applied for discrimination of intra-cloud (IC) and cloud-ground (CG) discharges;
- conventional discrimination of IC and CG discharges by means of wave-form criteria needs modifications;
- most of the located events are ground strikes; and
- ground flash densities need revision towards higher numbers.

During the past twenty years lightning location systems have been developed for commercial purposes mainly in the US, but also in France and Japan, and culminated in the set-up of a North American Lightning Detection Network (NALDN) in 1989. Since then various upgrades have been implemented and the technique was introduced in many countries around the world.

According to the generally assumed state of art flash detection efficiencies are reported to amount to some ninety percent, achieved locating accuracies are better than one kilometre, and IC-CG discrimination by wave-form criteria is claimed to be nearly perfect. Ground flash densities are evaluated from operational results and represent important data for lightning protection technologies.

For modern networks the capability of precise flash locating has been proven, mainly by means of measurements involving strikes to radio towers, but detection efficiency and IC-CG discrimination procedures remain a questionable issue. Initially, networks have been designed to report only CG strikes which can lead to damage on the ground, while IC strikes are suppressed by means of procedures which have not been published in detail.

It is said, though, that rise-time and peak-zero-crossing time of the detected VLF-pulses are utilized. Repeatedly, the relevant discrimination parameters have been subjected to changes. In recent years, it has been finally realized that IC discharges are at least of meteorological relevance and, thus, modern networks report also the detected IC lightning events.

The network according to the present invention comprises for example six sensor stations and has been designed to measure as much VLF-activity as possible originating from upcoming thunderstorms; high efficiency and modern data handling were implemented in order to both maximize meteorologically relevant output and investigate possible chances for better information with respect to early warning purposes.

As a result lightning discharges are collected in much larger quantities than expected. Comparison with the BLIDS data shows an excess of a factor three to ten, so that much better recognition of thunderstorm cells and contours become possible. These findings lead to the question where the additional strikes come from and prompt to investigate IC-CG discrimination procedures in more detail.

Since wave-form criteria represent a highly complex method the more direct procedure of 3D-locating is adopted according to the present invention which does not require any assumptions or adjustable parameters.



Surprisingly, this technique, which has not yet been used in any other network, turns out to be very successful and allows identification of IC-lightning in approximately 85 percent of the cases. The principle of the method is depicted as follows:

A sensor sufficiently close to a discharge will receive the VLF-signal with a time delay  $dT$  when one deals with an IC event as opposed to horizontal propagation in case of a CG stroke. As an example, an emission height of ten kilometres causes at a sensor distance of fifty kilometres a delay of some three microseconds.

Since common accuracies of GPS-based measurements of arrival times are of the order of one microsecond or better, a 3D-distinction of IC-lightning has a chance as long as the average distance of network sensors is not too large.

Applicability of the 3D-method in a given network can be assessed by inspection of the delay time distribution  $P(dT)$  obtained at the respective sensor closest to a located lightning, whereby locating implies that the discharge must be detected at a sufficient number of sensor stations. In the absence of IC discharges  $P(dT)$  is a highly symmetric distribution while the presence of detectable IC discharges produce a shift of  $P(dT)$  towards negative times (delay).

Given the latter circumstances it becomes straightforward to introduce the emission height  $H$  as an additional parameter into the locating algorithm. The experimental distributions  $P(dT)$  according to the present invention are indeed asymmetrical and yield typical results. The derived emission heights of some ten kilometres appear reasonable and cannot result from CG strokes and are likely to represent IC discharges.

5 Network simulations have been used to back up the findings according to the present invention: computed times of arrival have been distorted statistically to the extent that the overall network locating accuracy matches realistic results and, thus, lies between 0.5 kilometre in the centre and one kilometre near the border of the network.

10 When no IC discharges are assumed, the artificial time shifts result in some fifteen percent "false" IC-identifications, while under the assumption of hundred percent IC discharges 85 percent are retrieved with the expected height distribution. Inspection of the real data according to the present invention reveals that no more than thirty percent of the events can be attributed to IC discharges. As a consequence it must be argued that the major part of the additionally reported events are CG strokes.

15 Several implications of the findings according to the present invention need further consideration:

- 20
- a new technique for IC-CG discrimination could be established which, in principle, can be adopted to any modern locating network and gives new input with respect to research in cloud physics;
  - the results can be utilized to recheck and refine the above mentioned wave-form criteria; it can be expected that a combination of both procedures yields a highly reliable IC-CG discrimination;
  - the advent of large numbers of additional events requires an update of network detection efficiencies and the revealed increase of CG strokes demands an update of ground flash density maps.
- 25

30 Further work concerns the wave-form criteria which can be scrutinized on a much larger data base than before, the optimization of detection efficiency, comparison with VHF-data from other highly specialized 3D-

research systems, and investigations of the processes associated with IC-discharges.

\* \* \*

# Sferics Empfangsstation

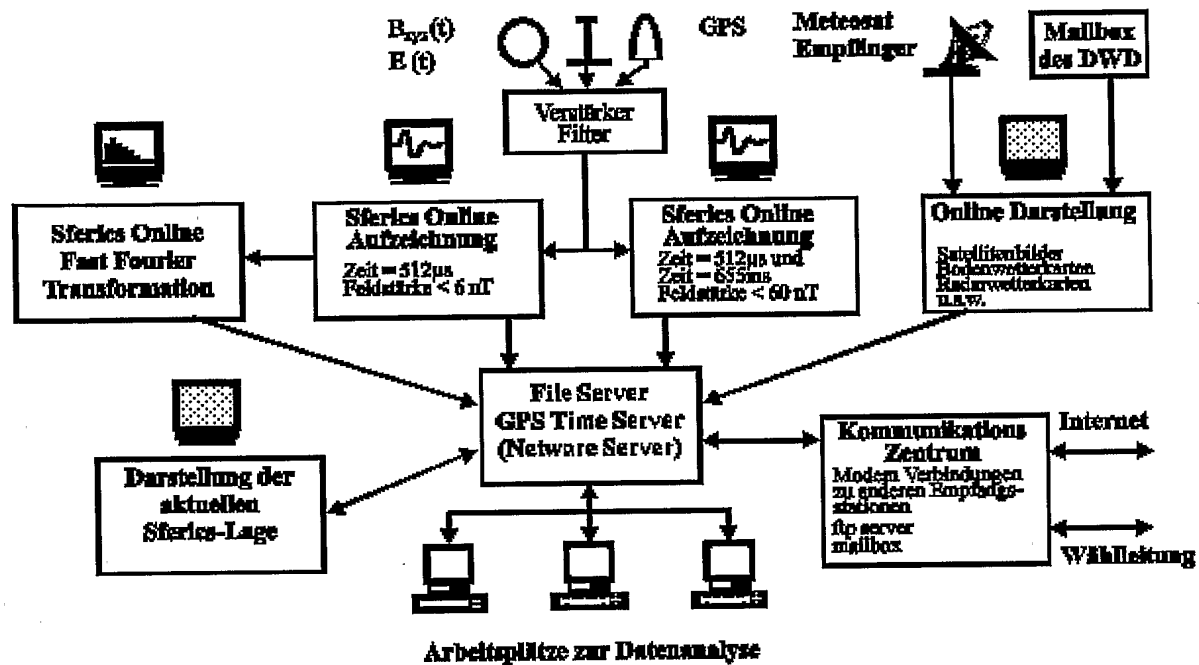


Fig. 1

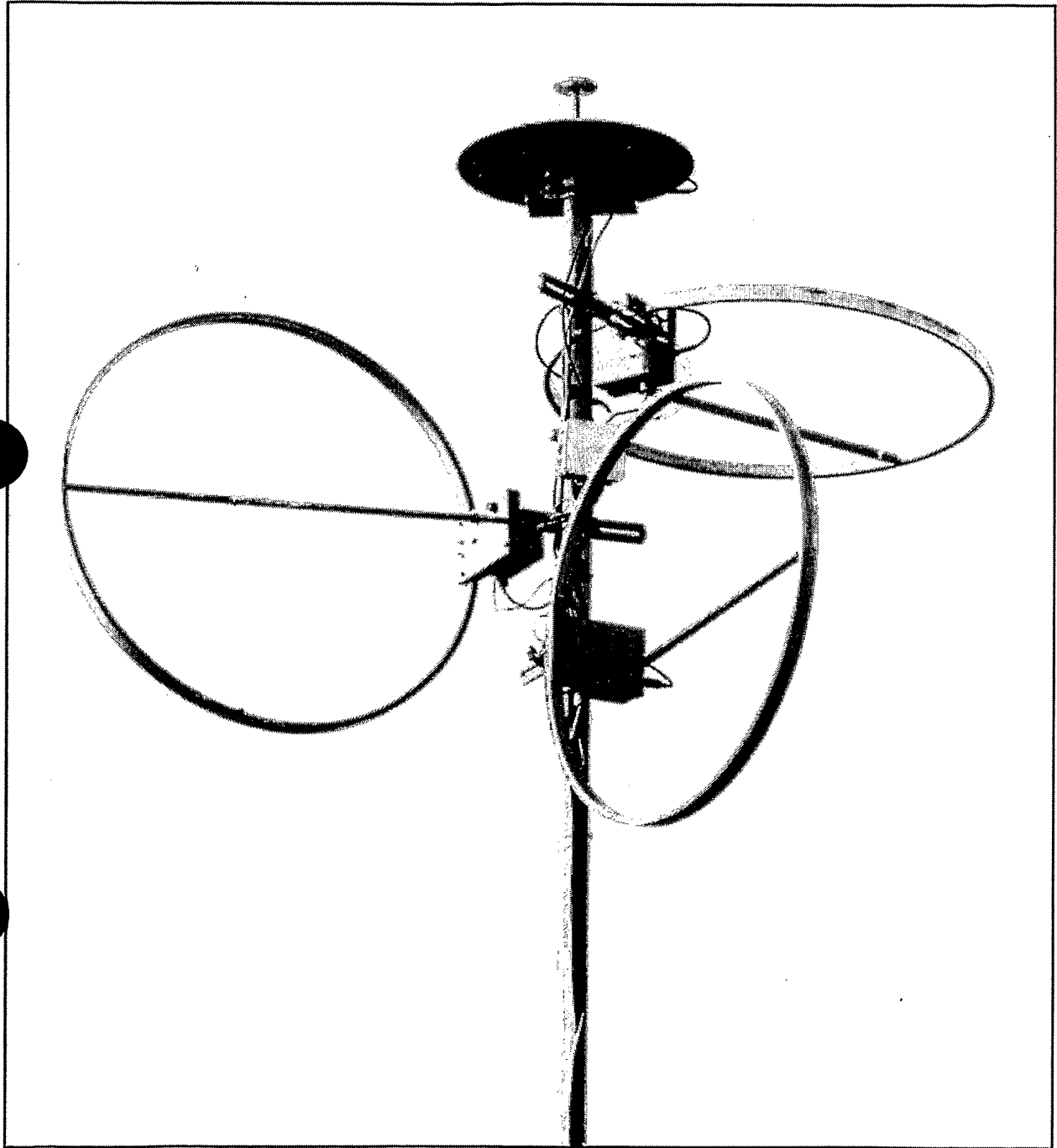


Fig. 2

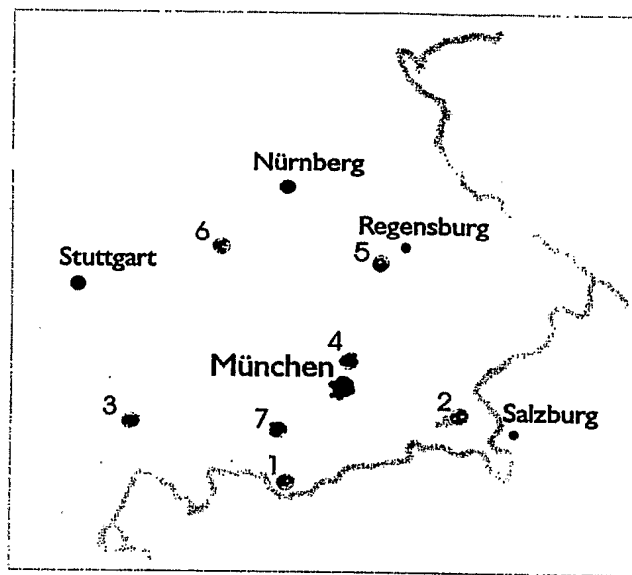


Fig. 3

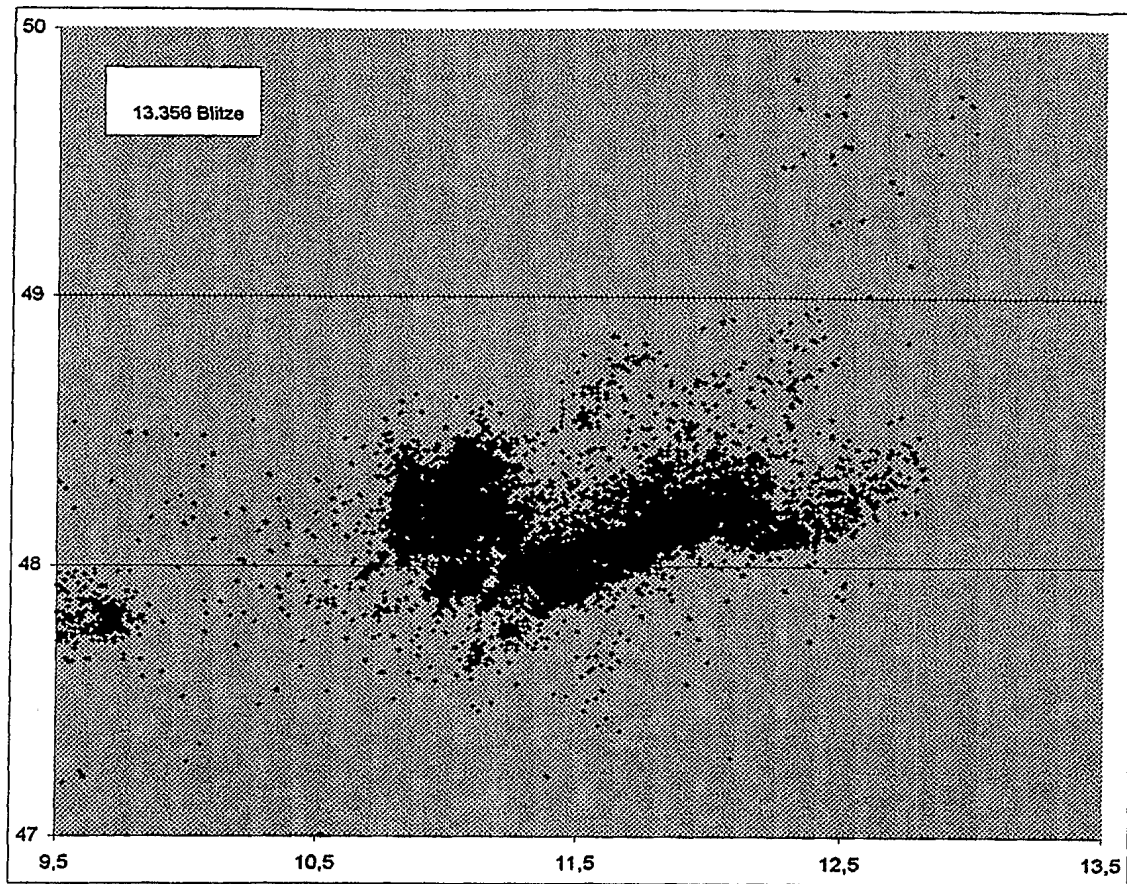
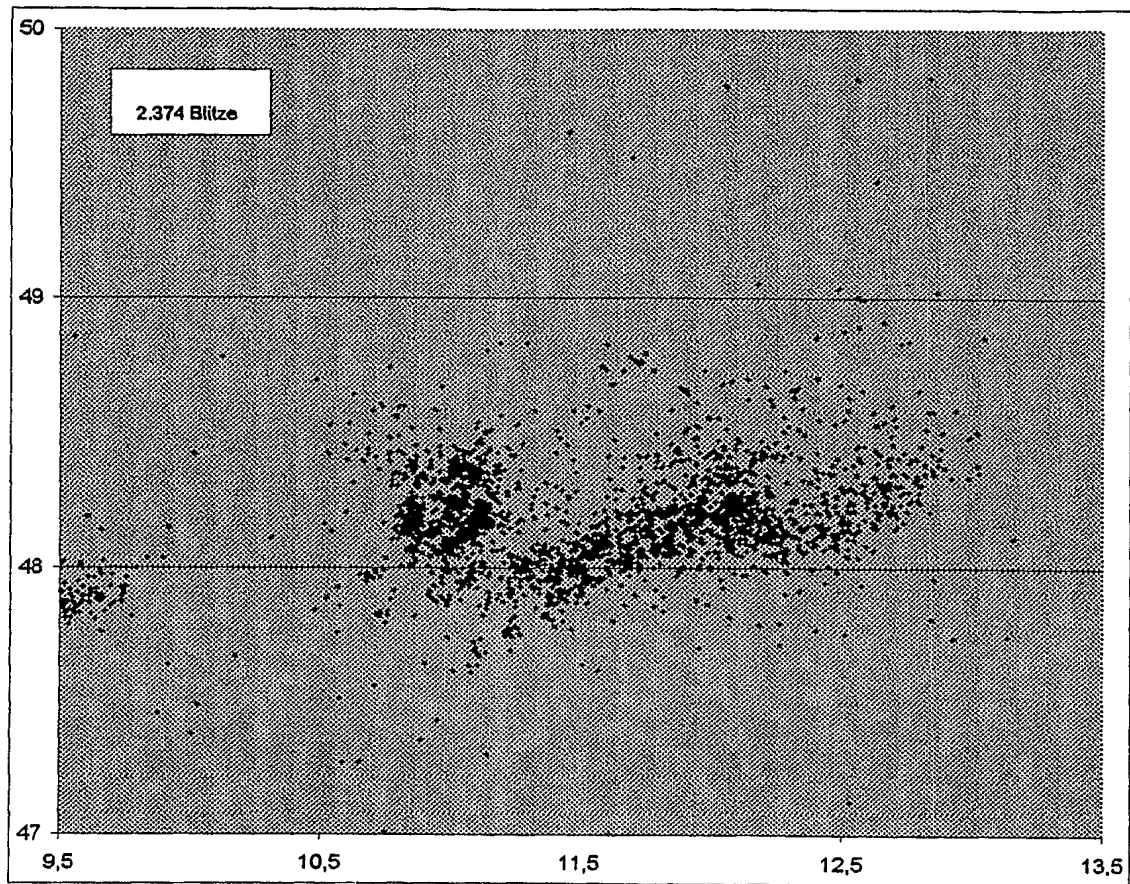


Fig. 4A



**Fig. 4B**



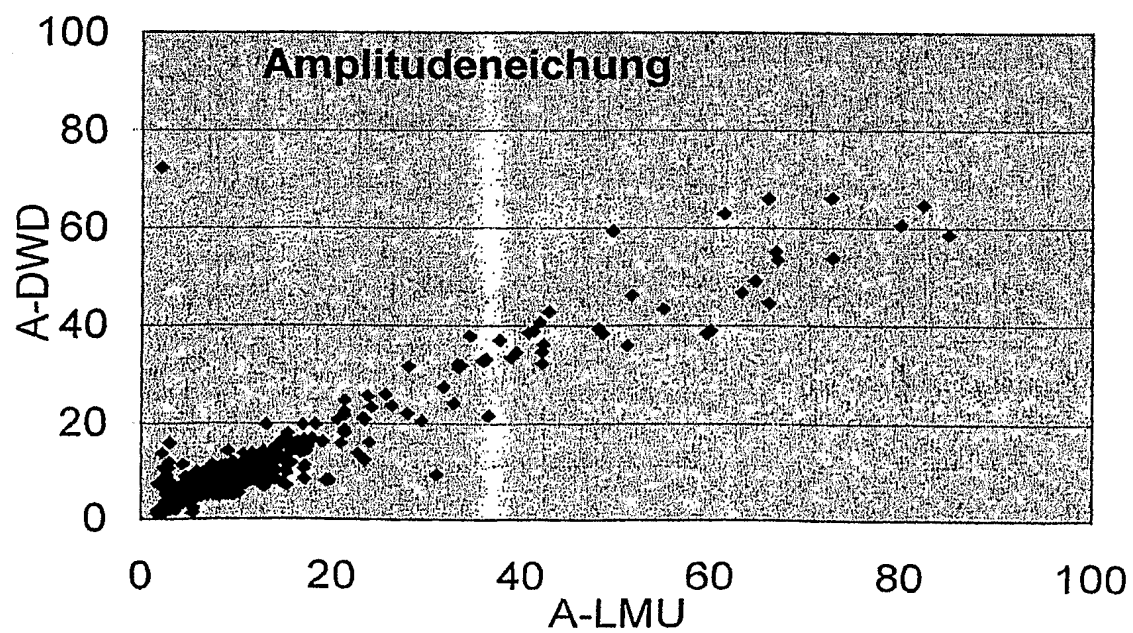
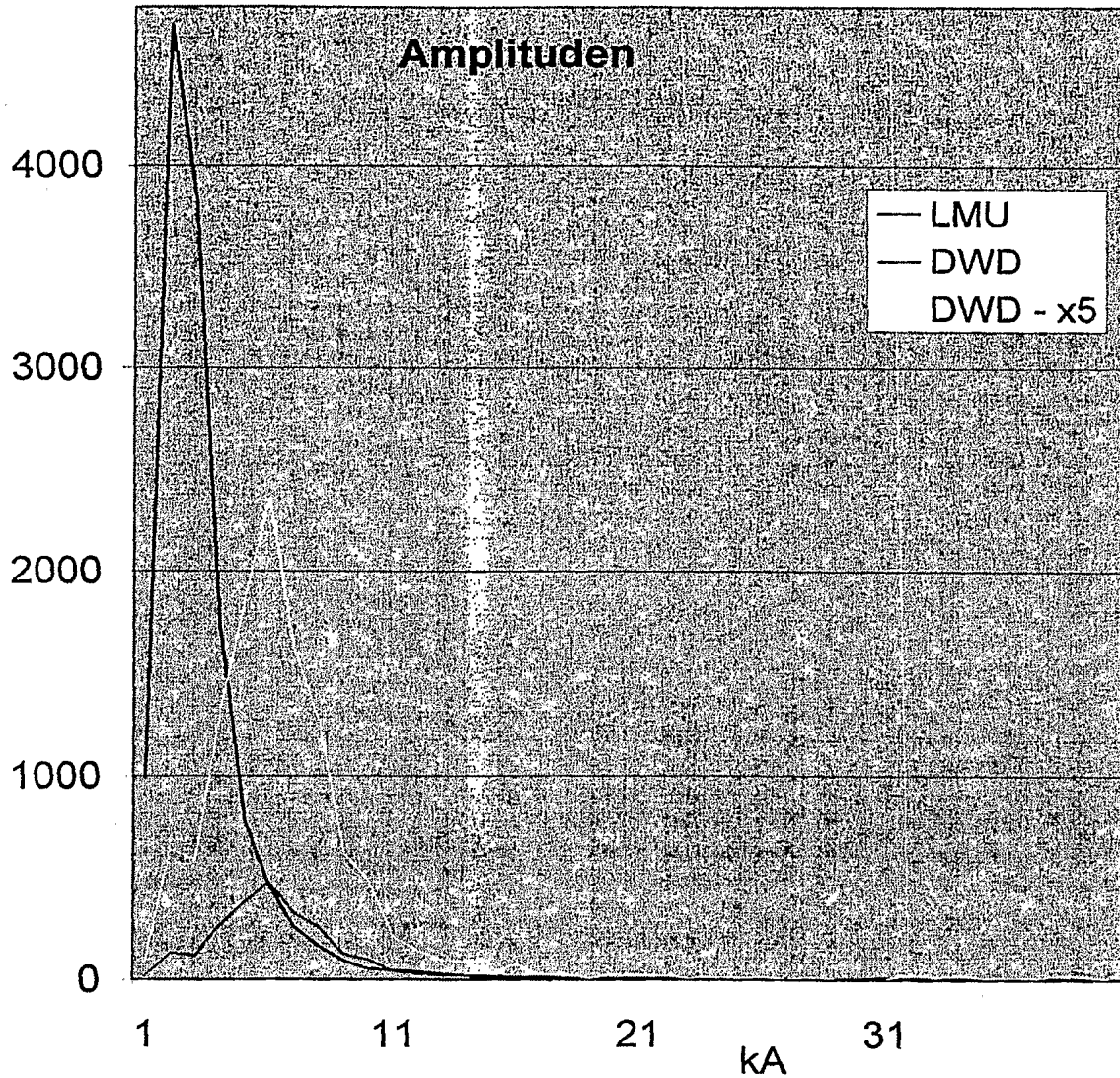
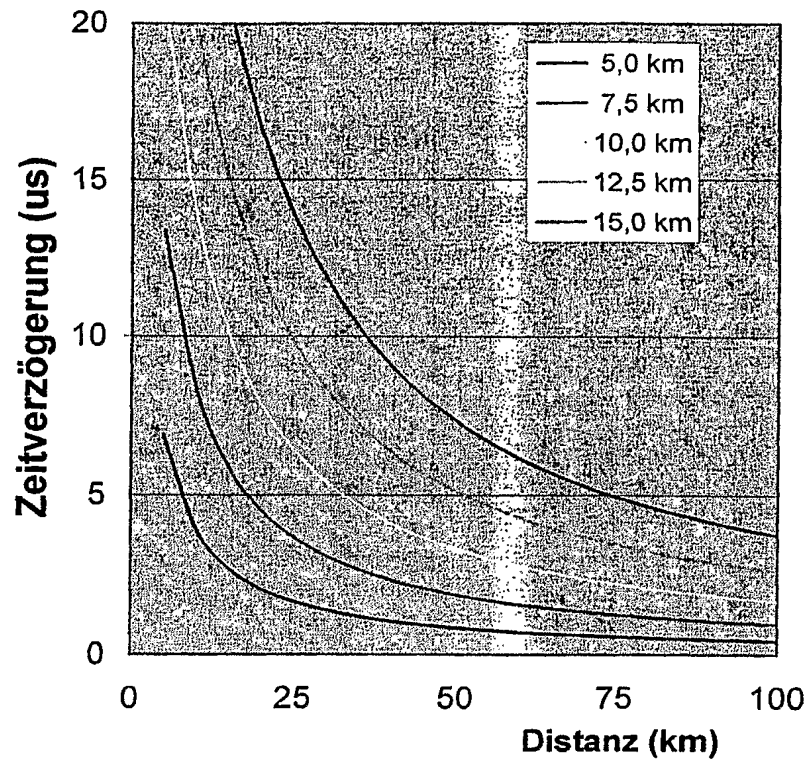
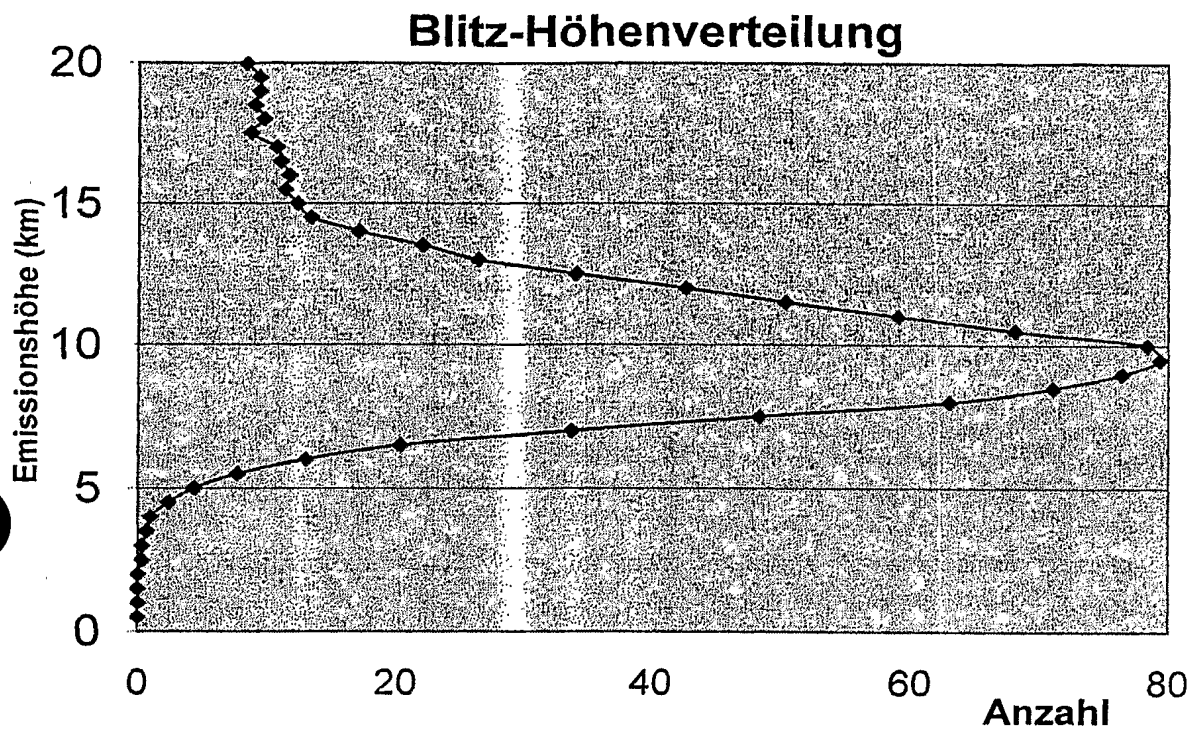


Fig. 5



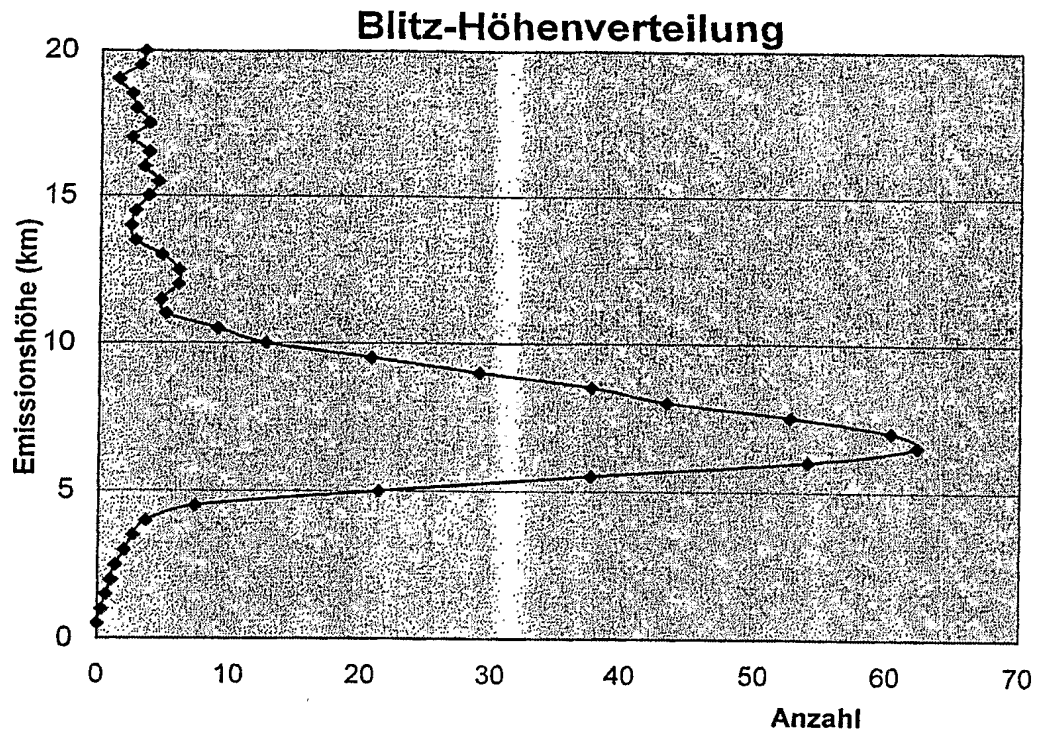
Erwartete Verzögerung der Signal-Ankunftszeiten als Funktion der Beobachtungsdistanz, für verschiedene Emissionshöhen.

**Fig. 6A**



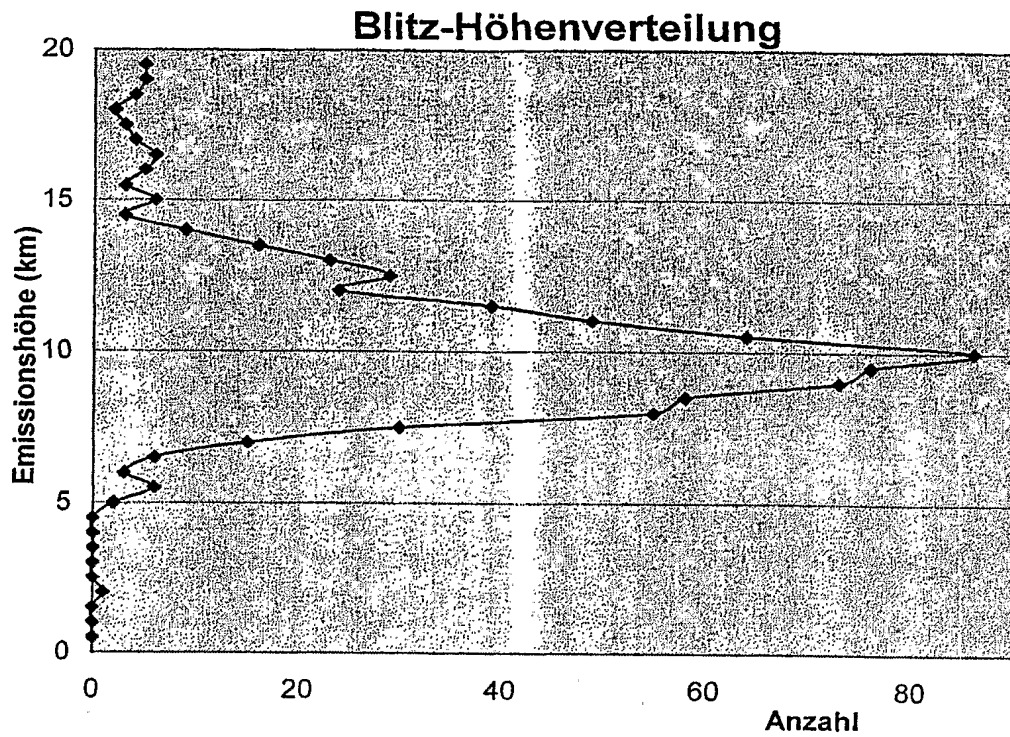
Verteilung der Emissionshöhen von 951 Blitzen, welche in einem Umkreis von bis zu ca. 60 km um 3 Stationen gepeilt wurden. Mindestens 3 weitere Stationen des VLF-Meßnetzes haben die Blitze erfasst. Insgesamt wurden im gleichen Zeitraum 6.929 Blitze an 4 oder mehr gepeilt; hinzu kommen ca. 7.800 nicht 3D-fähige Peilungen mit 3 Stationen.

Fig. 6B



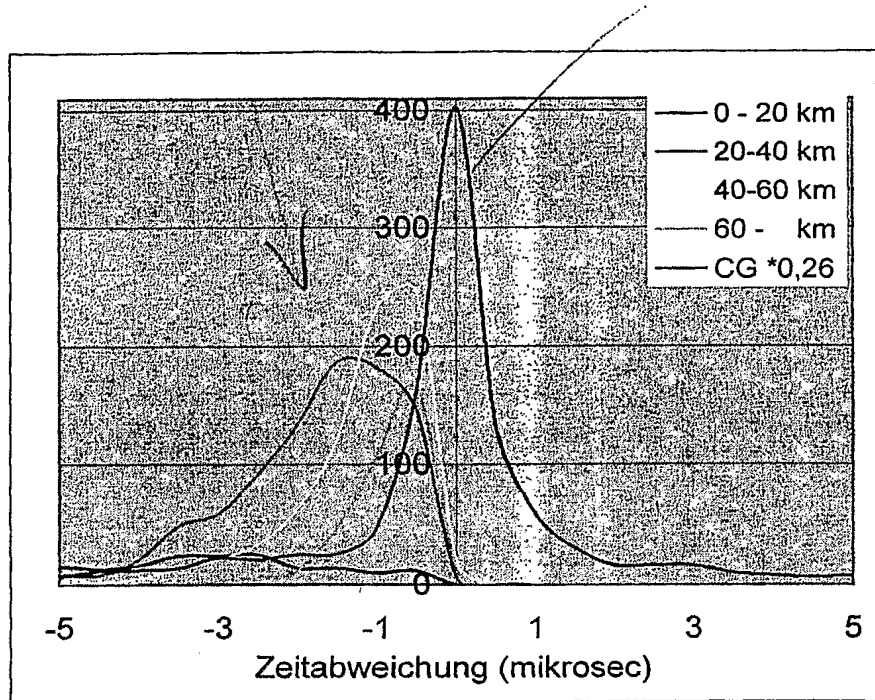
Verteilung der Emissionshöhe von 3D-gepeilten Blitzen während eines Gewitters.  
Die Bodenblitze sind nicht enthalten.

**Fig. 6C**



Verteilung der Emissionshöhe von 3D-gepeilten Blitzen während eines Gewitters.  
Die Bodenblitze sind nicht enthalten.

Fig. 6D



Verteilung der 2.247 Zeitabweichungen der jeweils blitznächsten Station bei insgesamt 6.697 gepeilten Blitzen. Negative Zeiten bedeuten Zeitverzögerung; diese sind für 4 Distanzbereiche Blitz - Sensorstation aufgetragen. Die symmetrische Kurve zeigt die 4.450 nicht höhenpeilbaren Bodenblitze (CG).

**Fig. 7**

**Deutsche Übersetzung der am 29. Januar 2004  
beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereichten  
Beschreibungsseite 20, Zeile 14, bis Beschreibungsseite 25, Zeile 2,  
der deutschen Patentanmeldung DE 10 2004 004 580.1  
(Beglaubigungsvermerk am Ende dieser Übersetzung):**

5

10

15

20

Alles in allem betrifft die vorliegende Erfindung eine Blitzerkennung mit erhöhter Effizienz und 3D-Unterscheidung von Entladungen innerhalb einer Wolke sowie von Wolke-Boden-Entladungen, d. h. eine 3D-Option für Emissionshöhen und Online-Unterscheidung zwischen Entladungen innerhalb einer Wolke und Wolke-Boden-Entladungen (Schlüsselwörter der vorliegenden Erfindung: VLF-Sensor, Blitzerkennung, Blitzortungsnetzwerk, Wolke-Boden-Blitz-Unterscheidung, 3D-Ortung, Blitzdichte):

25

30

Ein neues Blitzortungsnetzwerk ist entwickelt, das in kontinuierlichen Betrieb überführt ist und zum Beispiel den Südosten Deutschlands in einem Gebiet von annähernd 300 x 400 km erfasst. Die aufgenommene Blitzaktivität wird insbesondere in Bezug auf das Auftreten von schweren Gewittern analysiert, und ein Vergleich mit Daten des etablierten, von Siemens betriebenen Blitzortungsnetzwerks (BLIDS, ein Teil des europäischen Netzwerks EUCLID, mit US-Sensor-Technik und Netzwerk-Software) wurde gezogen. Die bemerkenswertesten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- das Netzwerk gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt verglichen mit etablierten Netzwerken bis zu einer Größenordnung mehr Entladungen an; die meisten zusätzlichen Signale weisen eine niedrigere Amplitude auf;

5

- eine neue 3D-Technik wird erfolgreich für die Unterscheidung von Entladungen innerhalb einer Wolke (I[ntra]C[loud]) und Wolke-Boden-Entladungen (C[loud]G[round]) angewendet;

10

- die konventionelle Unterscheidung von IC- und CG-Entladungen mittels Wellenformkriterien ist zu modifizieren;

- die meisten der lokalisierten Ereignisse sind Bodeneinschläge; und

15

- die Bodenblitzdichten bedürfen einer Revision zu höheren Anzahlen hin.

Während der vergangenen zwanzig Jahre wurden Blitzlokalisierungssysteme für kommerzielle Zwecke hauptsächlich in den Vereinigten Staaten, aber auch in Frankreich und Japan entwickelt, was 1989 in den Aufbau eines nordamerikanischen Blitz-Nachweis-Netzwerks (N[orth]A[merican]L[ightning]D[etection]N[etwork]) mündete. Seitdem wurden verschiedene Aufwertungen ausgeführt, und die Technik wurde in vielen Länder auf der ganzen Welt eingeführt.

20

25

Gemäß dem allgemein herangezogenen Stand der Technik wird von Blitz-Nachweis-Effizienzen berichtet, die bis zu etwa neunzig Prozent betragen, sind die erreichten Lokalisierungsgenauigkeiten besser als ein Kilometer und wird die IC-CG-Unterscheidung durch Wellenformkriterien als nahezu perfekt bezeichnet. Bodenblitzdichten werden aus Betriebsergebnissen ermittelt und stellen wichtige Daten für Blitzschutztechnologien dar.

30



Für moderne Netzwerke ist die Möglichkeit präziser Blitzlokalisierung vor allem mittels Messungen erwiesen, die Einschläge in Funktürme berücksichtigen; dennoch bleiben die Nachweiseffizienz sowie die IC-CG-Unterscheidungsmethoden diskussionswürdig. Anfänglich wurden Netzwerke dahingehend ausgelegt, dass nur CG-Blitzschläge angezeigt werden, die zu Schaden auf dem Boden führen können, während IC-Blitzschläge mittels nicht im Detail publizierter Methoden unterdrückt wurden.

Angeblich werden jedoch die Anstiegszeit und die Peak-Nulldurchgangszeit der nachgewiesenen VLF-Pulse genutzt. Wiederholt wurden die relevanten Unterscheidungsparameter Änderungen unterzogen. In den letzten Jahren wurde schließlich festgestellt, dass IC-Entladungen zumindest meteorologisch relevant sind, und demzufolge zeigen moderne Netzwerke auch die erfassten IC-Blitzereignisse an.

Das Netzwerk gemäß der vorliegenden Erfindung weist zum Beispiel sechs Sensorstationen auf und ist so ausgelegt, dass soviel aus aufkommenden Gewittern stammende VLF-Aktivität wie möglich gemessen wird; hohe Effizienz und moderne Datenverarbeitung sind implementiert, um sowohl den meteorologisch relevanten Output zu maximieren als auch Möglichkeiten einer besseren Information in Bezug auf Frühwarnzwecke zu untersuchen.

Im Ergebnis werden Blitzentladungen in viel größeren Mengen als erwartet gesammelt. Ein Vergleich mit den BLIDS-Daten zeigt einen Überschuss von einem Faktor drei bis zehn, so dass eine viel bessere Erkennung von Gewitterzellen und -umrissen möglich wird. Diese Erkenntnisse führen zur Frage, woher die zusätzlichen Blitzschläge kommen, und geben Veranlassung zu einer detaillierten Untersuchung von IC-CG-Unterscheidungsverfahren.

Da Wellenformkriterien eine hochkomplexe Methode darstellen, wird gemäß der vorliegenden Erfindung das direktere Verfahren der 3D-Lokalisierung, die keiner Annahmen oder anpassbarer Parameter bedarf, zur Anwendung gebracht.

5

Überraschenderweise erweist sich diese in noch keinem anderen Netzwerk eingesetzte Technik als sehr erfolgreich und erlaubt die Identifizierung von IC-Blitzen in annähernd 85 Prozent aller Fälle. Das Prinzip des Verfahrens ist im Folgenden dargestellt:

10

Ein Sensor, der einer Entladung ausreichend nahe ist, empfängt das VLF-Signal mit einer Zeitverzögerung  $dT$ , wenn es sich - im Gegensatz zu einer horizontalen Ausbreitung im Falle eines CG-Blitzschlags - um ein IC-Ereignis handelt. Beispielsweise verursacht eine Emissionshöhe von zehn Kilometern bei einer Sensordistanz von fünfzig Kilometern eine Verzögerung von etwa drei Mikrosekunden.

15

Da übliche Genauigkeiten von GPS-basierten Messungen der Ankunftszeiten in der Größenordnung von einer Mikrosekunde oder besser liegen, ist eine 3D-Unterscheidung von IC-Blitzen so lange sinnvoll, wie der durchschnittliche Abstand der Netzwerksensoren nicht zu groß ist.

20

Die Anwendbarkeit des 3D-Verfahrens in einem gegebenem Netzwerk kann anhand einer Untersuchung der Zeitverzögerungsverteilung  $P(dT)$  beurteilt werden, die am einem lokalisierten Blitz jeweils nächstgelegenen Sensor erhalten wird, wodurch das Lokalisieren impliziert, dass die Entladung bei einer ausreichenden Anzahl von Sensorstationen nachzuweisen ist. In Abwesenheit von IC-Entladungen ist  $P(dT)$  eine hochsymmetrische Verteilung, während die Anwesenheit von nachweisbaren IC-Entladungen eine Verschiebung von  $P(dT)$  zu negativen Zeiten (Verzögerung) hin bewirkt.

25

30

Unter den letzteren Umständen macht es Sinn, die Emissionshöhe  $H$  als zusätzlichen Parameter in den Lokalisierungsalgorithmus einzuführen. Die experimentellen Verteilungen  $P(dT)$  gemäß der vorliegenden Erfindung sind tatsächlich asymmetrisch und liefern typische Ergebnisse. Die abgeleiteten Emissionshöhen von einigen zehn Kilometern erscheinen angemessen und können nicht aus CG-Blitzschlägen resultieren, sondern stellen wahrscheinlich IC-Entladungen dar.

Netzwerksimulationen werden genutzt, um die Erkenntnisse gemäß der vorliegenden Erfindung zu unterstützen: Berechnete Ankunftszeiten werden statistisch in einem Maß deformiert, dass die gesamte Netzwerk-Lokalisierungsgenauigkeit zu realistischen Ergebnisse passt und somit zwischen 0,5 Kilometern im Zentrum und einem Kilometer am Rand des Netzwerks liegt.

Wenn keine IC-Entladungen angenommen werden, resultieren die künstlichen Zeitverschiebungen in etwa fünfzehn Prozent "falschen" IC-Identifizierungen, während unter der Annahme von einhundert Prozent IC-Entladungen mit der erwarteten Höhenverteilung 85 Prozent erhalten werden. Eine Untersuchung der realen Daten gemäß der vorliegenden Erfindung macht deutlich, dass nicht mehr als dreißig Prozent der Ereignisse IC-Entladungen zugeordnet werden können. Folglich ist davon auszugehen, dass der größte Teil der zusätzlich festgestellten Ereignisse CG-Blitzschläge sind.

Verschiedene Folgerungen der Erkenntnisse gemäß der vorliegenden Erfindung bedürfen weiterer Betrachtung:

- eine neue Technik für IC-CG-Unterscheidung konnte etabliert werden, die im Prinzip bei jedem moderne Lokalisierungsnetzwerk angewendet werden kann und die neuen Input in Bezug auf die Erforschung der Wolkenphysik gibt;

- die Ergebnisse können genutzt werden, um die vorerwähnten Wellenformkriterien zu überprüfen und zu verfeinern; es steht zu erwarten, dass eine Kombination beider Verfahrensweisen eine sehr zuverlässige IC-CG-Unterscheidung erlaubt;
- das Auftreten einer großen Anzahl zusätzlicher Ereignisse erfordert eine Aktualisierung der Netzwerknachweiseffizienzen, und der aufgezeigte Anstieg von CG-Schlägen erfordert eine Aktualisierung der Karten der Bodenblitzdichten.

Weitere Arbeit betrifft die Wellenformkriterien, die auf einer viel größeren Datenbasis als zuvor geprüft werden können, die Optimierung der Nachweiseffizienz, den Vergleich mit VHF-Daten aus anderen hochspezialisierten 3D-Forschungssysteme und Untersuchung der mit IC-Entladungen verbundenen Prozesse.

\* \* \*

Vorstehende deutsche Übersetzung wird am 29. März 2004 in München beglaubigt durch:

*Andreas Hofmann*  
(Dr. Andreas Hofmann, Patentanwalt)